Chapitre 2 : systèmes triphasés

I / Introduction

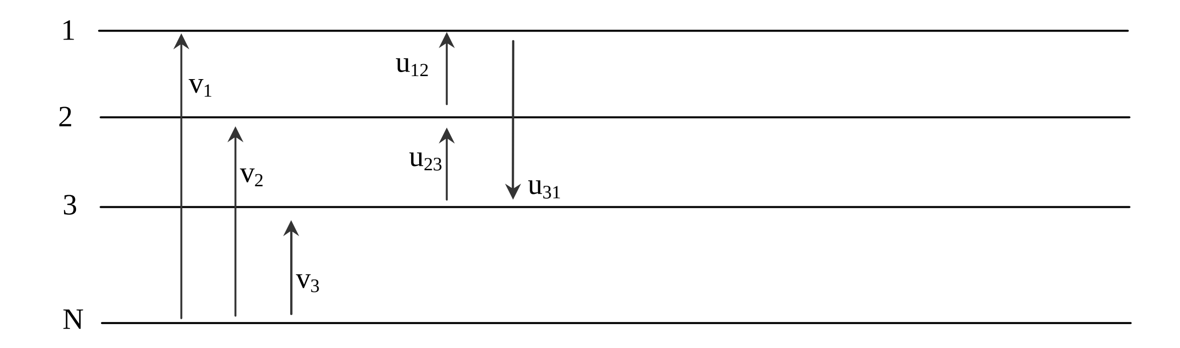
1. Pourquoi

- Le transport d'énergie électrique s'effectue en triphasé car une ligne triphasée dissipe moins d'énergie électrique qu'une ligne monophasée.

- La production d'énergie s'effectue en triphasé car à puissances égales, une machine triphasée sera moins couteuse qu'une machine monophasée (le prix des machines est directement lié à leur masse et à puissance égale, une machine monophasé est une fois et demie plus lourde qu'une machine triphasée).

2. le réseau de distribution

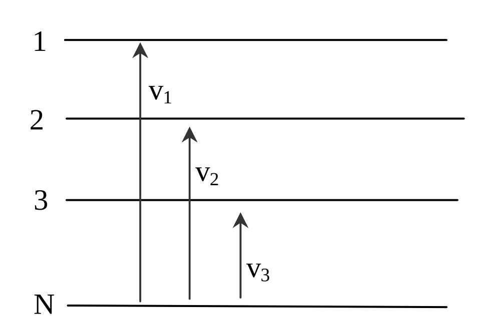
- la source : alternateur triphasé EDF
- la charge : récepteur triphasé formé, s'il est équilibré, de 3 impédances identiques
- la ligne : 3 fils identiques appelés phases et 1 fil appelé neutre



On appelle tensions simples les tensions v entre un fil de phase et le neutre.
On appelle tensions composées les tensions u entre deux fils de phase.

II / Etude des tensions simples

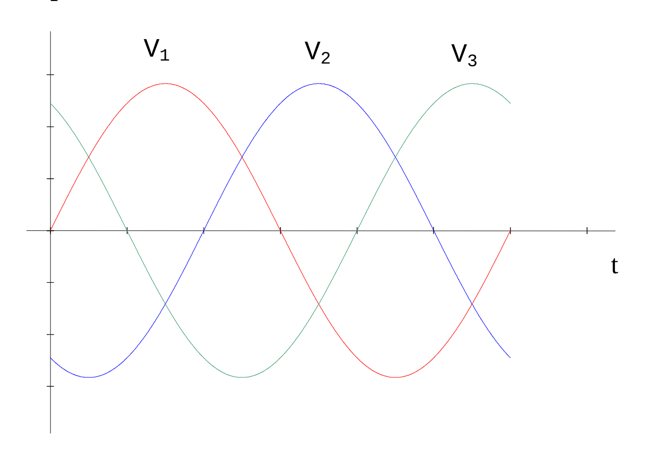
1. définition



v_1, v_2 et v_3 sont des tensions de même valeur efficace $V = v_{max} / \sqrt{2}$

et sont déphasées de $2\pi/3$ (=120°)

pour le réseau :



Doc 1

Caractéristiques du réseau EDF le plus fréquent :

f = 50 Hz

V = 230 V

φ = 120 °

2. équations

on choisit v_1 comme tension de référence :

$v_1 = V\sqrt{2}.\sin(\omega t)$

$v_2 = V\sqrt{2}.\sin(\omega t - 2\pi/3)$

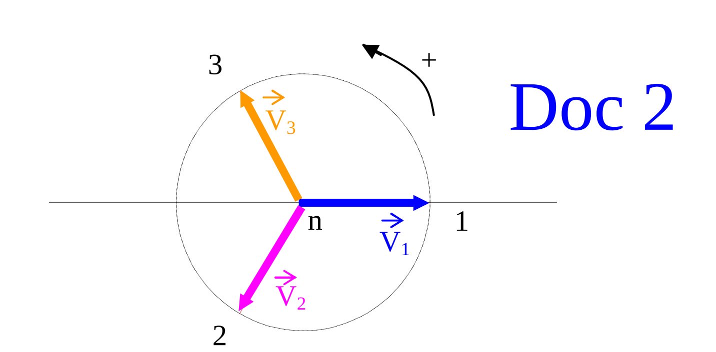
$v_3 = V\sqrt{2}.\sin(\omega t - 4\pi/3)$

3. vecteurs de Fresnel

$v_1 \rightarrow \vec{V}_1$ [V ; 0]

$v_2 \rightarrow \vec{V}_2$ [V ; -2π/3]

$v_3 \rightarrow \vec{V}_3$ [V ; -4π/3]



Doc 2

- pour un système triphasé équilibré, on a :

$$\vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 = \vec{0} \quad \Leftrightarrow \quad v_1 + v_2 + v_3 = 0$$

- le système précédent est ‘équilibré direct ’ car un observateur immobile verrait les vecteurs passer dans l’ordre 1 ; 2 ; 3.

III / tensions composées

1. définition

- notée u , une tension composée est la tension entre 2 fils de phases : u_{12} ; u_{23} ; u_{31} :

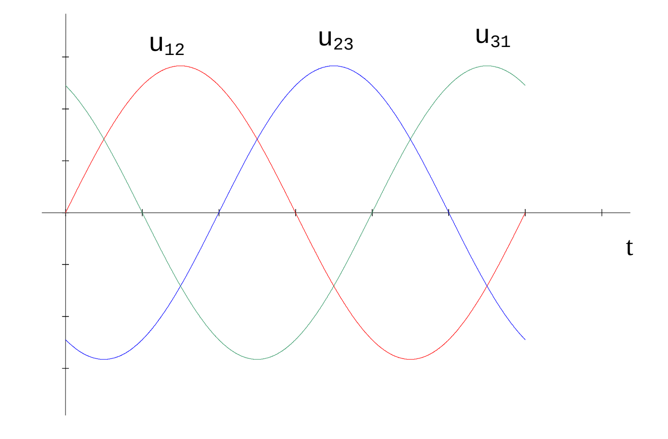
1, 2, 3, N ; u_{12}, u_{23}, u_{31}

$u_{12} = v_1 - v_2$

$u_{23} = v_2 - v_3$

$u_{31} = v_3 - v_1$

- les tensions composées ont même fréquence que les tensions simples.
- $u_{12} + u_{23} + u_{31} = 0$ car $(v_1 - v_2) + (v_2 - v_3) + (v_3 - v_1) = 0$

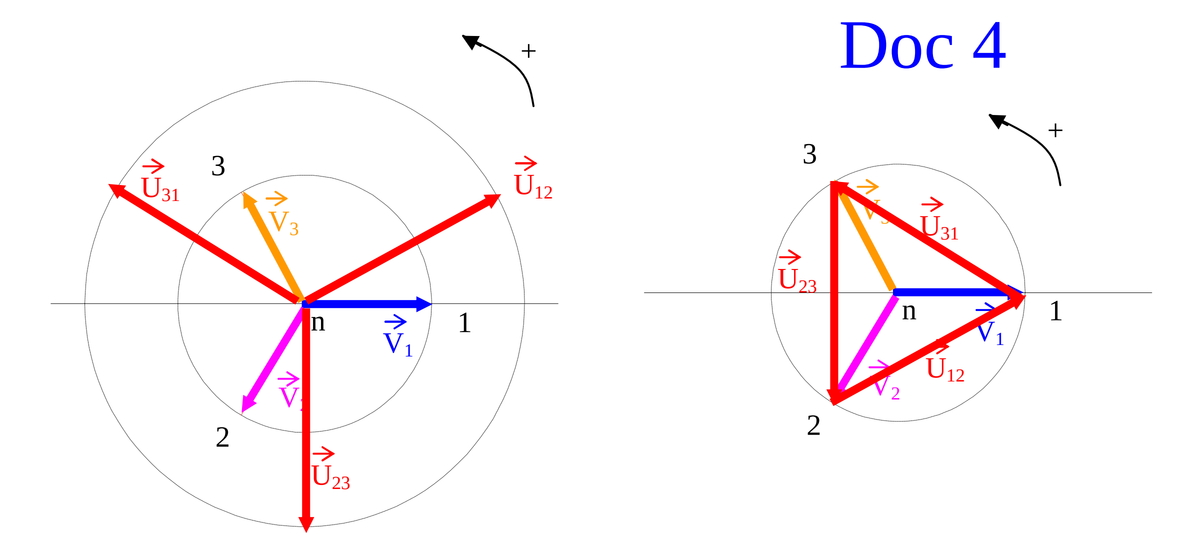


Doc 3

Caractéristiques du réseau EDF :
f = 50 Hz
U = 400 V
φ = 120 °

2. vecteurs de Fresnel

$$u_{12} = v_1 - v_2 \leftrightarrow \vec{U}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2$$
$$u_{23} = v_2 - v_3 \leftrightarrow \vec{U}_{23} = \vec{V}_2 - \vec{V}_3$$
$$u_{31} = v_3 - v_1 \leftrightarrow \vec{U}_{31} = \vec{V}_3 - \vec{V}_1$$



On a :

- Vecteurs composés de même norme donc les tensions composées ont même valeur efficace
- Les tensions composées sont déphasées de $2\pi/3$ l'une par rapport à l'autre.
- u_{23} est en quadrature retard sur v_1.
  u_{31} est en quadrature retard sur v_2.
  u_{12} est en quadrature retard sur v_3.

3. relation entre U et V

on a $U = V\sqrt{3}$

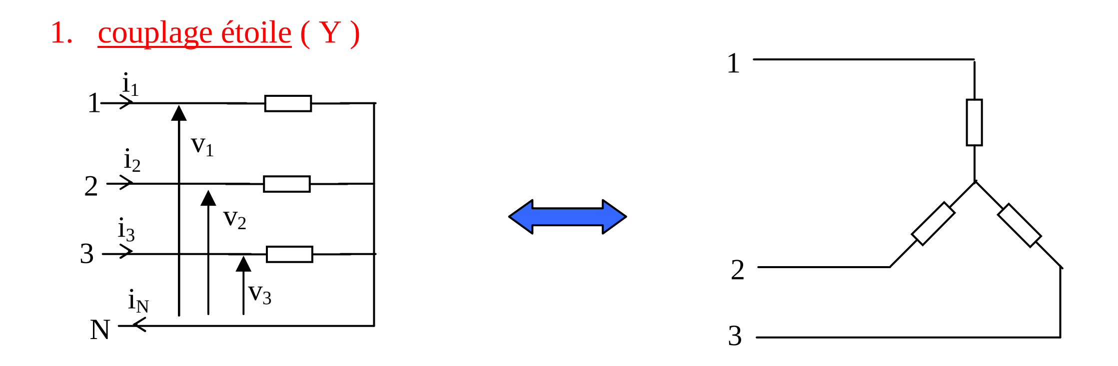
IV / Récepteurs triphasés équilibrés

Récepteurs constitués d 3 impédances $\underline{Z}$ = [Z ; φ]

Le courant qui traverse les dipôles est j : courant par phase.

Le courant qui circule dans les fils des lignes est i : courant de ligne.

1. couplage étoile (Y)



Pour l'étoile : (v ; i)

Chaque phase du récepteur est soumise à une tension simple et est parcouru par un courant de ligne i = j .

On a donc : $I_1 = I_2 = I_3 = I$ et $I = J = V / Z$

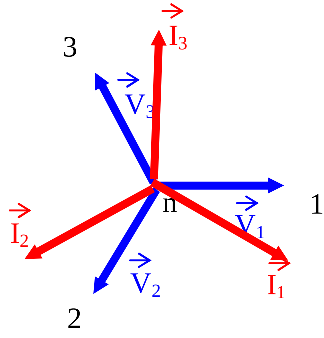
Le récepteur est triphasé équilibré et le système de tensions simples aussi donc :

$\vec{I_1} + \vec{I_2} + \vec{I_3} = \vec{0}$ (car $\vec{V_1} / Z + \vec{V_2} / Z + \vec{V_3} / Z = \vec{0}$)

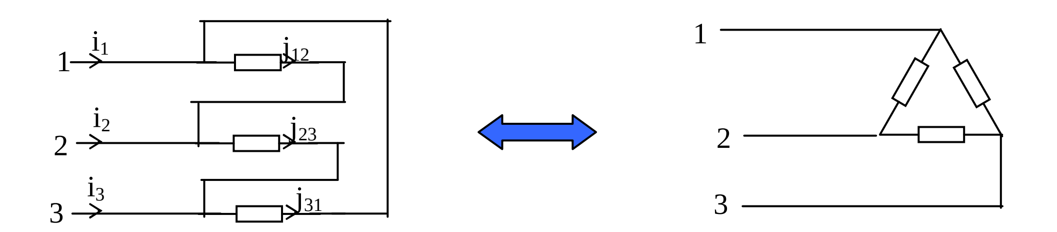
Et donc $I_N = 0$

Conclusion : lorsque l'installation est équilibré, l'intensité dans le fil de neutre est nulle.

Fresnel :



2. couplage triangle (Δ)



Pour le triangle : (u ; j)

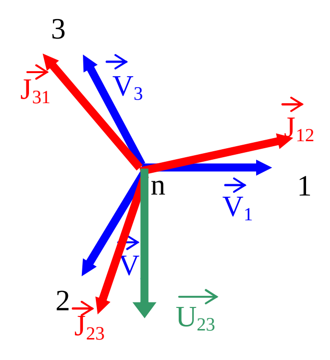
chaque phase du récepteur est soumise à une tension composée et i ≠j

on a donc : $\underline{J_{12}} = \underline{U_{12}} / \underline{Z}$; $\underline{J_{23}} = \underline{U_{23}} / \underline{Z}$; $\underline{J_{31}} = \underline{U_{31}} / \underline{Z}$

donc en valeur efficace : $J_{12} = J_{23} = J_{31} = U / Z = J$

on a $\boxed{I = J.\sqrt{3}}$

Fresnel :



$$\begin{cases} i_1 = j_{12} - j_{31} \\ i_2 = j_{23} - j_{12} \\ i_3 = j_{31} - j_{23} \end{cases}$$

3. plaque signalétique

→ réseau de tension : les valeurs efficaces des tensions d'un réseau triphasé sont souvent indiquées sous la forme V / U.

s'il y a qu'une tension, c'est U.

→ récepteur de tension : il faut veiller à ce que les tensions acceptées par le récepteur soient compatibles à celles du réseau.

La plaque du récepteur, indique la tension acceptable aux bornes de chaque phase de récepteur (si plusieurs indication, c'est la plus faible)

Exercice :

1/ quelle est la valeur efficace d'une tension simple d'un réseau 133/230V
133V
2/ plaque signalétique du récepteur : 400V
- si le réseau est 230/400V, comment coupler le récepteur ?

en triangle, ainsi chaque phase a U à ses bornes ie 400V
- si le réseau est 400/700, même question.

en étoile, ainsi chaque phase supporte une tension simple : 400V

3/ trois impédances Z = 50 Ω, associées en étoile, sont alimentées par un réseau 133/230V. Quelle est l'intensité efficace du courant les traversant ?
en étoile, donc chaque impédance supporte V=133V donc pour chaque phase, on a I = V/Z=133/50=2,66A

4/ les trois impédances précédentes sont montées en triangle sur le même réseau. Quelle est l'intensité efficace du courant les traversant ?
en triangle, donc chaque impédance supporte U=230V donc J =U/Z = 230/50 = 4,6A

5/ Quelle est l'intensité du courant en ligne dans le cas précédent ?
$I = J.\sqrt{3} = 4,6.\sqrt{3} = 8A$

V/ Puissances en triphasé

1. Rappel en monophasé

Puissance active : $P = UI.\cos\varphi$ U en V ; I en A ; P en W

Puissance réactive : $Q = UI.\sin\varphi$ U en V ; I en A ; Q en Voltampères réactifs (Var)

Puissance apparente : $S = UI$ U en V ; I en A ; S en Voltampères (VA)

Relation entre les puissances : $S^2 = P^2 + Q^2$

2. Théorème de Boucherot

La puissance active (respectivement réactive) absorbée par un groupement de récepteurs est égale à la somme des puissances actives (respectivement réactives) absorbées par chaque récepteur du groupement.

$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + ...$

$Q_{tot} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + ...$

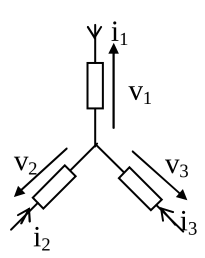


Attention, il n'en est pas de même pour les la puissance apparente. On la calcule ensuite :

$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

3. puissance pour un récepteur en étoile

chaque phase du récepteur est traversé par i et a v à ses bornes.



- Donc $P_1 = P_2 = P_3 = VI.\cos\varphi$ (pour une phase)

Pour tout le récepteur : $P = 3VI\cos\varphi$ or $V = U/\sqrt{3}$

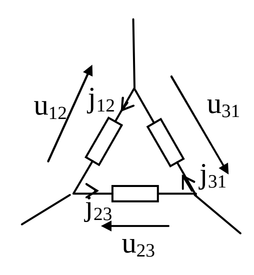
Donc $P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi$

- De même $Q_1 = Q_2 = Q_3 = VI.\sin\varphi$

Donc $Q = 3VI\sin\varphi = \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi$

- Et on a $S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = \sqrt{3}\ UI$

4. puissance pour un récepteur en triangle



Chaque phase du récepteur est traversée par j et a u à ses bornes.

- Donc $P_1 = P_2 = P_3 = UJ\cos\varphi$ (pour une phase)

Pour tout le récepteur : $P = 3UJ\cos\varphi$ or $J=I/\sqrt{3}$

Donc $P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi$

- De même $Q_1 = Q_2 = Q_3 = UJ.\sin\varphi$

Donc $Q = 3UJ\sin\varphi = \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi$

- Et on a $S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = \sqrt{3}\ UI$

5. conclusion

quelque soit le couplage (étoile ou triangle) les puissances s'expriment de la même façon.

$P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi$; $Q = \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi$; $S = \sqrt{3}\ UI$

Rq : expressions identiques mais résultats différents

6. exercice

un récepteur triphasé peut être couplé en étoile ou en triangle ; l'impédance de chacune de ses phases est $\underline{Z}$ = [20Ω ; π/3].
Il est relié à un réseau 230 /400V.

Calculer pour chaque couplage :

- le courant par phase
- le courant de ligne
- les puissances pour une phase
- les puissances totales

Etoile :

- $\underline{I} = \underline{V} / \underline{Z}$ = [230 ; θ] / [20 ; π/] = [11,5 ; θ - π/3]

Le courant dans la phase 11,5A est en retard de π /3 sur sa tension simple

- I = J
- P_{phase} =VIcosφ = 230.11,5.cosπ/3 = 1320W

  Q_{phase} =VIsinφ = 230.11,5.sinπ/3 = 2290VAR
- P_{totale} = 3.P_{phase} = 3970W
  Q_{totale} = 3.Q_{phase} = 6870VAR

triangle :

- $\underline{J} = \underline{U} / \underline{Z}$ = [400 ; θ] / [20 ; π/] = [20 ; θ - π/3]

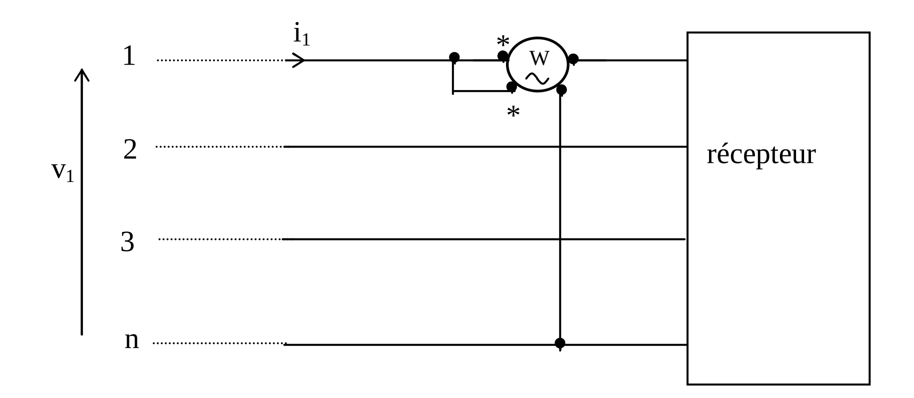
Le courant dans la phase 20A

- en ligne : I = J√3=20√3=34,6A
- P_{phase} =UJcosφ = 400.20.cosπ/3 = 4000W

  Q_{phase} =UJsinφ = 400.20.sinπ/3 = 6930VAR
- P_{totale} = 3.P_{phase} = 12000W
  Q_{totale} = 3.Q_{phase} = 20800VAR

VI / Mesure de puissances

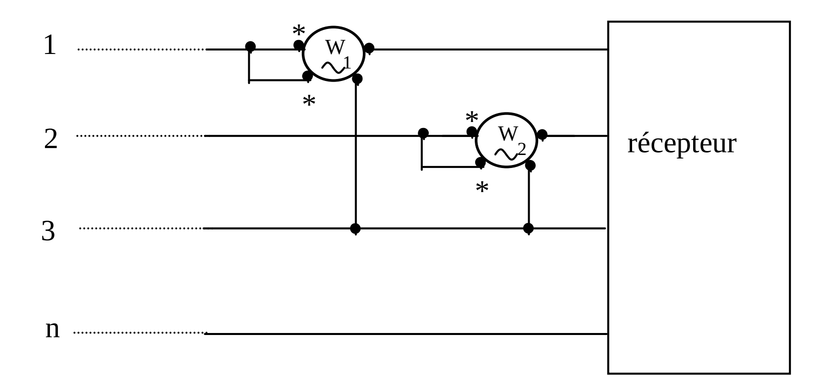
1. mesure d'une puissance triphasée avec un wattmètre



On branche le circuit courant en série sur la ligne 1 et le circuit tension entre 1 et n ; on mesure $W^1_{1n} = V_1.I_1.\cos\varphi$

Donc la puissance active consommée par le récepteur vaut :
$P = 3.W^1_{1n} = 3.V_1.I_1.\cos\varphi$

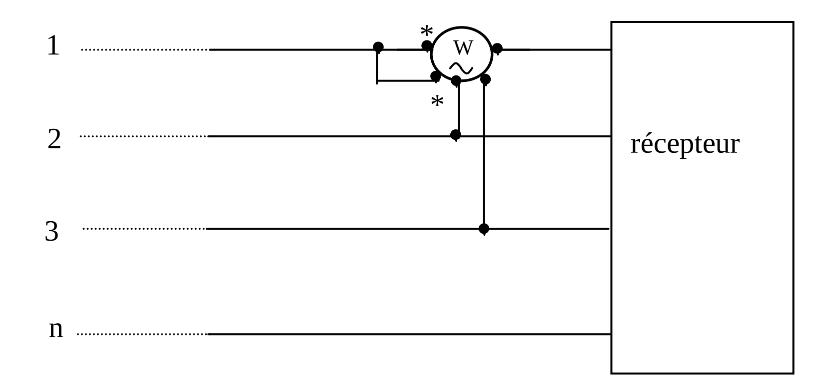
2. méthode des deux wattmètre



Le wattmètre 1 indique $W^1_{13} = I_1.U_{13}.\cos\varphi_{U13/I1}$
Le wattmètre 2 indique $W^2_{23} = I_2.U_{23}.\cos\varphi_{U23/I2}$

Alors : $P = W^1_{13} + W^2_{23}$

3. méthode du wattmètre triphasé



Le wattmètre indique alors directement la puissance consommée par le récepteur triphasé.

VII / Facteur de puissance

1. définition

- $f_p = P / S$

- en sinusoïdal triphasé $\begin{cases} P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi \\ S = \sqrt{3}.U.I \end{cases} \Rightarrow f_p = \cos\varphi$

2. relèvement du facteur de puissance

une installation alimentée par EDF (230/400V) constitue une charge triphasée de facteur de puissance f_p.
cette installation appelle une puissance active P.
or : $P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi \Leftrightarrow I = P / \sqrt{3}.U.\cos\varphi \Leftrightarrow I = P / \sqrt{3}.U.f_p$

donc, I sera d'autant plus faible que f_p sera grand.

Or EDF pour minimiser ses pertes (effet Joule lors du transport) veut avoir I le plus faible possible. Il faut donc avoir un fort facteur de puissance.

Pour relever le f_p, on ajoute trois condensateurs identiques.

3. exercice

une installation triphasée absorbe par phase un courant de I = 100A sous une tension composée U = 125V et un facteur de puissance $\cos\varphi = f_p = 0{,}707$ ($\varphi = \pi/4$rad)
Pour améliorer le cosφ du réseau, on monte entre les bornes 3 condensateurs
1/ en étoile. Calculer la valeur de la capacité de chacun des trois condensateurs si on veut un f_p de 0,9.
2/ en triangle. Même question.

P reste la même, seule Q change.

Avant : $P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi = \underline{15310W}$
$Q = \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi$ or $\sin\varphi = \sqrt{(1-\cos^2\varphi)} = \sqrt{(1-0{,}707^2)} = 0{,}707$
donc Q = 15310VAR

Après : P' = P
$Q' = Q + Q_c$ (th Boucherot)

On veut $Q' = \sqrt{3}.U.I'.\sin\varphi'$ avec $\cos\varphi'=0{,}9 \Rightarrow \varphi'=0{,}451$rad $\Rightarrow \sin\varphi' = 0{,}436$

Donc $Q_c = Q' - Q$
$= \sqrt{3}.U.I'.\sin\varphi' - \sqrt{3}.U.I.\sin\varphi$
$= \sqrt{3}.U.I'.\cos\varphi'.\sin\varphi'/\cos\varphi' - \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi.\sin\varphi/\cos\varphi$
$= P'.\tan\varphi' - P.\tan\varphi$
$= P.(\tan\varphi' - \tan\varphi)$
= -7895 VAR

donc $Q_{c\ phase} = Q_c / 3 =$ **-2632 VAR**

1/ en étoile :

$Q_C = VI.\sin\varphi = -VI$ car $\varphi = -\pi/2$ rad pour un condensateur

Et $\underline{V} = \underline{Z_C}.\underline{I} \Rightarrow I = V / Z_C = V.C\omega$

Donc : $Q_C = -V^2C\omega \Leftrightarrow$ **$C = Q_C / (-V^2\omega)$**

Conclusion : $C = Q_{c\ phase} / (-V^2\omega) = 2632 / (72.2^2.314) =$ **1,6mF**

1/ en triangle :

$Q_C = UJ.\sin\varphi = -UJ$ car $\varphi = -\pi/2$ rad pour un condensateur

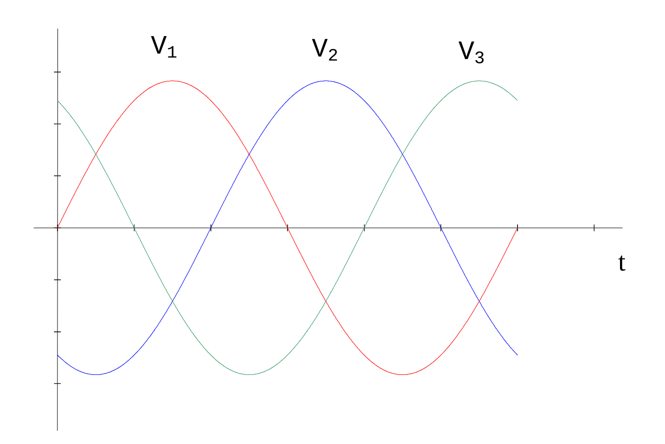
Et $\underline{U} = \underline{Z_C}.\underline{J}$ $\Rightarrow$ $J = U / Z_C = U.C\omega$

Donc : $Q_C = -U^2C\omega$ $\Leftrightarrow$ $\boxed{C = Q_C / (-U^2\omega)}$

Conclusion : $C = Q_{c\ phase} / (-U^2\omega) = 2632 / (125^2.314) = \boxed{5.4.10^{-4}\ F}$

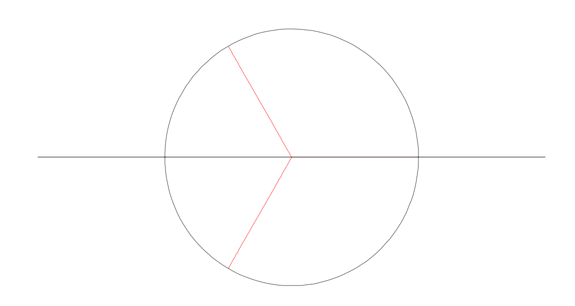
Docs élève

Document 1

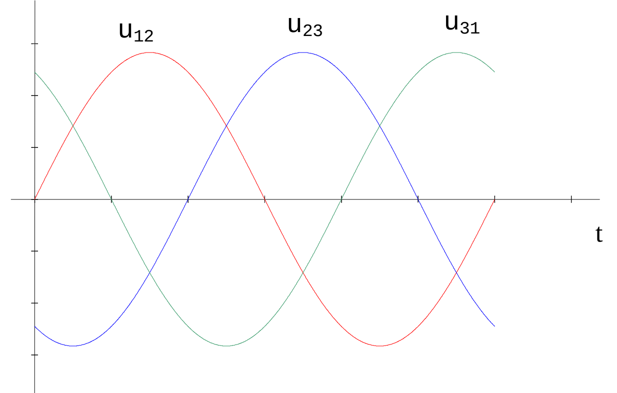


<u>Caractéristiques du réseau EDF le plus fréquent :</u>
f = 50 Hz
V = 230 V
φ = 120 °

Document 2



Document 3



<u>Caractéristiques du réseau EDF</u> :
f = 50 Hz
U = 400 V
φ = 120 °

Document 4

